

# TOUT EN FICHES

*Sous la direction de*  
**Daniel Richard**  
Professeur d'université, retraité

LE COURS DE

# BIOLOGIE

**LICENCE / CAPES / PRÉPAS**

5<sup>e</sup>  
ÉDITION

**Patrick Chevalet**

Maître de conférences à l'INSPE (Toulouse)

**Sylvie Fournel**

Professeure à l'université de Strasbourg

**Nathalie Giraud**

Professeure agrégée à l'INSPE (Toulouse)

**Frédéric Gros**

Maître de conférences à l'université de Strasbourg

**Christine Joly-Viard**

Professeure au lycée Georges de la Tour à Metz

**Patrick Laurenti**

Maître de conférences à l'université Paris Diderot

**Fabienne Pradère**

Professeure agrégée à l'INSPE (Toulouse)

**Thierry Soubaya**

Professeur agrégé en classes préparatoires BCPST

**DUNOD**

Le pictogramme qui figure ci-contre d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée. Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, 2010, 2012, 2015, 2018, 2022  
 11, rue Paul Bert, 92240 Malakoff  
 www.dunod.com  
 ISBN 978-2-10-083407-5

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2° et 3° a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

# Table des matières

AVANT-PROPOS	XIII
COMMENT UTILISER CET OUVRAGE	XIV-XV
ABRÉVIATIONS	XVI
REMERCIEMENTS	XVIII

## Partie 1 L'organisation des systèmes biologiques

<b>CHAPITRE 1 L'ORGANISATION DES CELLULES DU VIVANT</b>	<b>3</b>
Fiche 1 L'unité du vivant	4
Fiche 2 La cellule bactérienne	7
Fiche 3 La cellule des Archées	9
Fiche 4 La cellule animale	11
Fiche 5 La cellule végétale	13
Fiche 6 La membrane plasmique	15
Fiche 7 Membranes et compartimentation intracellulaire	22
Fiche 8 Le cytosquelette	24
Fiche 9 Les mitochondries	28
Fiche 10 Les plastes	30
Fiche 11 Le noyau des cellules eucaryotes	32
<i>Focus Les virus</i>	34
QCM	35
<b>CHAPITRE 2 L'ORGANISATION SUPRA-CELLULAIRE DU VIVANT</b>	<b>37</b>
Fiche 12 La diversité des tissus des Eumétazoaires	38
Fiche 13 La diversité des tissus des Angiospermes	42
Fiche 14 Les tissus méristématiques des Embryophytes	46
Fiche 15 Adhésion et communication intercellulaire	48
Fiche 16 Les matrices extracellulaires	52
<i>Focus Les voies symplasmique et apoplasmique</i>	58
QCM	59
<b>CHAPITRE 3 ÉVOLUTION ET DIVERSITÉ DES ÊTRES VIVANTS</b>	<b>61</b>
Fiche 17 L'évolution, théorie unificatrice de la biologie	62
Fiche 18 Hérité et évolution	64
Fiche 19 Histoire évolutive du vivant, quelques repères	70
Fiche 20 La classification phylogénétique du vivant	74
Fiche 21 Eucaryotes, Bicontes et Unicontes	80
Fiche 22 Les Chloroplastidés	82
Fiche 23 Les Embryophytes	84
Fiche 24 Les Fougères ( <i>sensu lato</i> )	85
Fiche 25 Les Pinales	88

Fiche 26	Les Angiospermes	91
Fiche 27	Les Eumycètes	94
Fiche 28	Les Métazoaires	97
Fiche 29	Les Eumétazoaires	100
Fiche 30	Les Bilatéraux	103
Fiche 31	Les Mollusques	107
Fiche 32	Les Euarthropodes	110
Fiche 33	Les Chordés	113
Fiche 34	Les Sarcoptérygiens	116
<i>Focus</i>	<i>Les « blobs », des Eucaryotes particuliers ?</i>	120
QCM		121

## Partie 2 Information génétique

### CHAPITRE 4 L'ADN : STABILITÉ ET VARIABILITÉ 125

Fiche 35	L'information génétique	126
Fiche 36	La réplication de l'ADN	130
Fiche 37	Mutations et variabilité génétique	136
Fiche 38	Les systèmes de réparation de l'ADN	142
<i>Focus</i>	<i>Mise en évidence du rôle de l'ADN en tant que support de l'information génétique</i>	146
QCM		147

### CHAPITRE 5 L'EXPRESSION DE L'INFORMATION GÉNÉTIQUE ET SON CONTRÔLE 149

Fiche 39	L'expression de l'information génétique	150
Fiche 40	Contrôle de l'expression des gènes chez les Bactéries	158
Fiche 41	Le contrôle de l'expression des gènes chez les Eucaryotes	160
Fiche 42	Maturation et adressage des protéines	166
<i>Focus</i>	<i>Transcriptome et protéome, une nouvelle approche pour étudier l'expression des gènes</i>	170
QCM		171

### CHAPITRE 6 LES TECHNIQUES DE GÉNÉTIQUE MOLÉCULAIRE 173

Fiche 43	La caractérisation d'un gène	174
Fiche 44	Les techniques d'étude et de modification de l'ADN	176
Fiche 45	Exemples d'applications du génie génétique	180
<i>Focus</i>	<i>La génomique</i>	182
QCM		183

## Partie 3 Métabolisme et fonctions de nutrition

### CHAPITRE 7 LE MÉTABOLISME 187

Fiche 46	Le métabolisme intermédiaire, concepts généraux	188
Fiche 47	L'énergie cellulaire	192
Fiche 48	Les enzymes : catalyseurs biologiques	199
Fiche 49	Le catabolisme des glucides à des fins énergétiques	203

Fiche 50	Le catabolisme des lipides à des fins énergétiques	208
Fiche 51	Le cycle de Krebs, une voie amphibolique	211
Fiche 52	Les voies de synthèse endogène des substrats énergétiques	213
Fiche 53	La production d'ATP à l'échelle cellulaire	215
Fiche 54	La photosynthèse chez les Embryophytes	217
Fiche 55	L'efficacité de la photosynthèse chez les Angiospermes de type C3, C4 et CAM	222
Fiche 56	La photorespiration	224
Fiche 57	Les réserves organiques	226
Fiche 58	Les métabolites secondaires des Spermatophytes	232
<i>Focus</i>	<i>Étude cinétique des réactions enzymatiques</i>	234
QCM		235
<b>CHAPITRE 8 L'ÉQUILIBRE DES COMPARTIMENTS LIQUIDIENS</b>		<b>237</b>
Fiche 59	Les compartiments liquidiens chez l'Homme	238
Fiche 60	Le sang chez l'Homme	240
Fiche 61	L'homéostasie	242
Fiche 62	Osmolarité des Eumétazoaires et facteurs du milieu	250
Fiche 63	Le rein des Mammifères, organe de l'équilibre hydrominéral	256
Fiche 64	La thermorégulation	258
Fiche 65	Les compartiments liquidiens chez les Embryophytes	262
<i>Focus</i>	<i>Les diabètes sucrés</i>	268
QCM		269
<b>CHAPITRE 9 LA CIRCULATION</b>		<b>271</b>
Fiche 66	La circulation des liquides internes chez les Eumétazoaires	272
Fiche 67	Le cœur des Mammifères	276
Fiche 68	Cellules myocardiques et contraction du cœur des Mammifères	280
Fiche 69	Le débit cardiaque et son contrôle chez les Mammifères	282
Fiche 70	Les vaisseaux des Mammifères	284
Fiche 71	La pression artérielle	288
Fiche 72	La circulation des sèves chez les Angiospermes	292
<i>Focus</i>	<i>L'électrocardiogramme (ECG)</i>	296
QCM		297
<b>CHAPITRE 10 LA NUTRITION</b>		<b>299</b>
Fiche 73	Les besoins nutritifs des Embryophytes	300
Fiche 74	Absorption de l'azote et du diazote du sol chez les Spermatophytes	302
Fiche 75	La symbiose mycorhizienne	306
Fiche 76	Les échanges entre organes puits et organes sources chez les Embryophytes, exemple des Angiospermes	308
Fiche 77	Les cycles de vie et les réserves organiques chez les Angiospermes	310
Fiche 78	Les aliments, nutriments et besoins alimentaires chez l'Homme	313

Fiche 79	Prise alimentaire et structures digestives chez les Eumétazoaires	316
Fiche 80	Les structures digestives chez les Eumétazoaires	318
Fiche 81	La digestion chez l'Homme	320
<i>Focus</i>	<i>Les méthodes calorimétriques</i>	326
QCM		327

## CHAPITRE 11 LA RESPIRATION 329

Fiche 82	Les échangeurs respiratoires	330
Fiche 83	La respiration branchiale	334
Fiche 84	La respiration pulmonaire	336
Fiche 85	Le transport des gaz respiratoires par les fluides internes	340
Fiche 86	Le contrôle des échanges respiratoires	344
Fiche 87	La respiration lors de changements de milieu de vie	346
<i>Focus</i>	<i>Le surfactant, un film tensioactif particulier</i>	348
QCM		349

## CHAPITRE 12 L'EXCRÉTION 351

Fiche 88	L'excrétion azotée	352
Fiche 89	Principaux appareils excréteurs et leurs modalités de fonctionnement	356
Fiche 90	Le rein de Vertébrés	360
<i>Focus</i>	<i>Clairance rénale et hémodialyse</i>	364
QCM		365

# Partie 4 Les fonctions de relation

## CHAPITRE 13 LES BASES MOLÉCULAIRES DE LA COMMUNICATION INTERCELLULAIRE 369

Fiche 91	Les récepteurs membranaires et protéines associées	370
Fiche 92	Les seconds messagers intracellulaires et leurs récepteurs	374
Fiche 93	Les récepteurs nucléaires	378
<i>Focus</i>	<i>La notion de communication</i>	380
QCM		381

## CHAPITRE 14 LA COMMUNICATION NERVEUSE 383

Fiche 94	Neurones et cellules gliales	384
Fiche 95	Les messages nerveux	388
Fiche 96	Les bases ioniques du potentiel d'action sodique	392
Fiche 97	La transmission synaptique chimique	394
Fiche 98	L'anatomie comparée du système nerveux	400
Fiche 99	L'encéphale des Vertébrés	402
<i>Focus</i>	<i>Ne pas confondre conduction électrique et conduction régénérative</i>	404
QCM		405

## CHAPITRE 15 LA COMMUNICATION HORMONALE 407

Fiche 100	Les messagers hormonaux : de la synthèse à la cellule cible	408
Fiche 101	Le système hypothalamo-hypophysaire chez l'Homme	410
Fiche 102	Les glandes surrénales	412

Fiche 103	Thyroïde et hormones thyroïdiennes	416
Fiche 104	Pancréas et hormones pancréatiques	418
Fiche 105	Glandes et hormones agissant sur la calcémie	420
Fiche 106	Les phytohormones des Spermatophytes, définition et diversité	422
Fiche 107	Les voies de signalisation de quelques phytohormones sur les cellules	424
Fiche 108	Interactions ABA-gibbérélines et équilibre dormance-germination	428
Fiche 109	Les phytohormones et le développement de l'appareil végétatif des Spermatophytes	430
Fiche 110	L'auxine et le grandissement cellulaire	432
<i>Focus</i>	<i>La découverte des hormones et des phytohormones</i>	434
QCM		435
<b>CHAPITRE 16 LES FONCTIONS SENSORIELLES</b>		<b>437</b>
Fiche 111	Le fonctionnement des systèmes sensoriels	438
Fiche 112	La vision chez l'Homme	441
Fiche 113	L'organisation générale de la somesthésie	454
Fiche 114	L'audition chez l'Homme	462
Fiche 115	Le système vestibulaire et le sens de l'équilibre	471
Fiche 116	Fonctions sensorielles et modes de vie	474
<i>Focus</i>	<i>La mesure des champs récepteurs sensoriels</i>	478
QCM		479
<b>CHAPITRE 17 L'INTÉGRATION DE SIGNAUX DE L'ENVIRONNEMENT PAR LES EMBRYOPHYTES</b>		<b>481</b>
Fiche 117	Le déterminisme de la floraison	482
Fiche 118	Le déterminisme de la germination	484
Fiche 119	Les phototropines	486
Fiche 120	Phototropisme et gravitropisme	488
<i>Focus</i>	<i>Les nasties</i>	490
QCM		491
<b>CHAPITRE 18 LA MOTRICITÉ</b>		<b>493</b>
Fiche 121	Le muscle squelettique	494
Fiche 122	Les activités motrices réflexes	500
Fiche 123	La posture	503
Fiche 124	La notion de centre générateur de rythme (CPG)	505
Fiche 125	Le mouvement volontaire	507
Fiche 126	Les ajustements physiologiques accompagnant un exercice musculaire	511
<i>Focus</i>	<i>Myopathies des muscles squelettiques</i>	514
QCM		515
<b>CHAPITRE 19 LES DÉFENSES DE L'ORGANISME</b>		<b>517</b>
Fiche 127	Le système immunitaire et le maintien de l'intégrité de l'organisme	518
Fiche 128	La réponse inflammatoire	524
Fiche 129	Les systèmes de défense de l'immunité innée	526
Fiche 130	Les lymphocytes de l'immunité innée	530
Fiche 131	Les cellules dendritiques et la présentation des antigènes	534

Fiche 132	Les molécules du CMH	538
Fiche 133	La réponse immunitaire adaptative	542
Fiche 134	Les cellules régulatrices	549
Fiche 135	La génération des répertoires T et B	551
Fiche 136	Dysfonctionnements du système immunitaire	556
Fiche 137	L'immunothérapie	563
<i>Focus</i>	<i>La Covid 19</i>	566
QCM		567

## Partie 5 Reproduction et développement

### CHAPITRE 20 RENOUELEMENT ET MORT CELLULAIRE 571

Fiche 138	Le cycle cellulaire et son contrôle chez les Eucaryotes	572
Fiche 139	La mitose chez les Eucaryotes	576
Fiche 140	La méiose chez les Eucaryotes	578
Fiche 141	Mort cellulaire et apoptose	580
<i>Focus</i>	<i>Les cellules souches</i>	582
QCM		583

### CHAPITRE 21 LA REPRODUCTION 585

Fiche 142	Les modalités de la reproduction chez les Métazoaires	586
Fiche 143	Gamétogenèse et fécondation chez les Mammifères	590
Fiche 144	La reproduction humaine	593
Fiche 145	La gestation chez les Mammifères	597
Fiche 146	Naissance et lactation chez les Mammifères	601
Fiche 147	La diversité des modes de multiplication asexuée	605
Fiche 148	La diversité des modalités de la rencontre des cellules sexuelles	607
Fiche 149	Le modèle de la fleur des Angiospermes	609
Fiche 150	La formation des gamétophytes chez les Angiospermes	615
Fiche 151	La pollinisation	617
Fiche 152	La double fécondation et la formation de la graine chez les Angiospermes	620
Fiche 153	La croissance du fruit	625
Fiche 154	La germination de la graine	627
<i>Focus</i>	<i>La contraception chimique féminine</i>	630
QCM		631

### CHAPITRE 22 CROISSANCE, DÉVELOPPEMENT ET LEUR CONTRÔLE 633

Fiche 155	Les mécanismes généraux de l'embryogenèse chez les Eumétazoaires	634
Fiche 156	De l'œuf à la neurulation chez les Batraciens	637
Fiche 157	L'induction du mésoderme chez les Batraciens	644
Fiche 158	La détermination des polarités antéro-postérieure et dorso-ventrale	646
Fiche 159	L'organogenèse du membre des Vertébrés tétrapodes	648
Fiche 160	La métamorphose	650
<i>Focus</i>	<i>Déterminisme du sexe chez l'Homme</i>	652
QCM		653



## Partie 6 Écologie et éthologie

<b>CHAPITRE 23 RÉPARTITION DES ÊTRES VIVANTS ET FACTEURS ÉCOLOGIQUES</b>	<b>657</b>
Fiche 161 La notion d'écosystème	658
Fiche 162 Exemples d'écosystèmes	664
Fiche 163 Dynamique des écosystèmes	670
<i>Focus</i> La déforestation	674
QCM	675
<b>CHAPITRE 24 FLUX DE MATIÈRE ET D'ÉNERGIE AU SEIN DE L'ÉCOSYSTÈME</b>	<b>677</b>
Fiche 164 Les réseaux trophiques	678
Fiche 165 Les flux de matière	681
Fiche 166 La biodiversité	687
Fiche 167 Quelques actions de l'Homme sur la biodiversité	692
<i>Focus</i> Diversité écologique des Pyrénées : un patrimoine témoin du passé	696
QCM	697
<b>CHAPITRE 25 POPULATIONS ET COMMUNAUTÉS</b>	<b>699</b>
Fiche 168 La communication chez les Eumétazoaires	700
Fiche 169 Les relations intraspécifiques	702
Fiche 170 Les comportements parentaux	706
Fiche 171 Les relations interspécifiques	709
<i>Focus</i> Quelques repères de l'histoire de l'éthologie	714
QCM	715
<b>ANNEXES</b>	<b>717</b>
<b>GLOSSAIRE FRANÇAIS-ANGLAIS</b>	<b>727</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>743</b>
<b>INDEX</b>	<b>745</b>
<b>CRÉDITS ICONOGRAPHIQUES</b>	<b>751</b>



# Avant-propos

Nos connaissances en biologie ont fait d'énormes progrès ces dernières décennies grâce, en particulier, à l'évolution des techniques d'investigation. Ces dernières ont permis d'approfondir aussi bien les aspects moléculaires du fonctionnement du vivant que son analyse systémique.

Cette nouvelle édition a, de ce fait, été entièrement remaniée afin de tenir compte des connaissances acquises ces dernières années dans les différents domaines de la biologie.

Cet ouvrage est organisé en fonction de ces données actuelles. Chaque fois que possible, l'approche est transversale, mettant en avant les principes fondamentaux du fonctionnement des êtres vivants.

Les connaissances sont organisées en six grandes parties :

- Organisation des systèmes biologiques ;
- Information génétique ;
- Métabolisme et fonctions de nutrition ;
- Fonctions de relation ;
- Reproduction et développement ;
- Écologie et éthologie ;

au total, 171 fiches permettant d'aborder l'ensemble des aspects de la biologie.

Ce découpage est nécessairement arbitraire, c'est pourquoi dans chaque fiche présentant une notion précise, de multiples renvois permettent au lecteur de se référer rapidement aux notions associées à la question traitée.

En termes de présentation, cet ouvrage est adapté aux méthodes actuelles de lecture et aux contraintes des étudiants : lecture rapide, représentation imagée avec de nombreux schémas et photographies, QCM avec corrections argumentées, compléments sur site internet, bibliographie.

Un glossaire français-anglais des principaux termes scientifiques permet de retrouver rapidement la définition d'un terme ou d'une notion et sa traduction en anglais. De plus, l'ensemble des abréviations classiquement utilisées en biologie est listé en début d'ouvrage.

Afin de rompre avec ce découpage arbitraire et d'aider à une réflexion globale, 22 thèmes transversaux sont proposés et corrigés sous forme de plan sur le site internet.

Ce livre est accompagné de bonus web pour les étudiants, conçus comme de véritables compléments de l'ouvrage. Ils présentent :

- des animations illustrant différents processus dynamiques ;
- des photographies supplémentaires ;
- des sujets transversaux et leurs corrections ;
- des QCM supplémentaires ;
- l'accès à certaines illustrations de l'ouvrage.

D'un niveau scientifique correspondant aux étudiants de licence (L2-L3) de Sciences de la Vie, cet ouvrage permettra également aux étudiants de Master préparant les concours de l'enseignement en Sciences de la Vie et de la Terre, ou en Biotechnologie, de réviser simplement et rapidement leurs connaissances.

# Comment utiliser

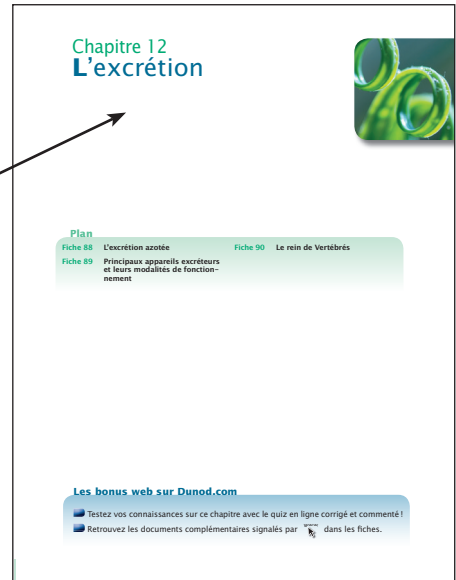


6 parties

25 chapitres

171 fiches

Les notions essentielles du cours avec des renvois pour naviguer d'une fiche à l'autre ou consulter les bonus web sur Dunod.com.



**fiche 70 Les vaisseaux des Mammifères**

Les Mammifères ont un système circulatoire clos. Ce système est composé d'une pompe cardiaque destinée à la mise en mouvement du sang et d'un ensemble de vaisseaux sanguins dans lesquels circule le sang. On distingue trois grands types de vaisseaux : les artères, les veines et les capillaires.

**1. La structure générale des vaisseaux**

La paroi des vaisseaux comporte plusieurs couches ou tuniques dont l'importance respective varie d'un type de vaisseau à l'autre (figure 1 et 2).

**Figure 1 Structure générale d'un vaisseau et particularités des artères, veines et capillaires**

**Figure 2 Coupes transversales d'artère, veine et capillaire**

La tunique la plus interne, l'intima, est constituée de l'endothélium, d'une lame basale et d'une très mince couche de tissu conjonctif. Cette tunique est présente dans tous les types de vaisseaux. La média, tunique moyenne, est constituée principalement de muscles lisses renforcés par des couches organisées de fibres élastiques. Cette tunique est particulièrement développée dans les artères. L'adventice, tunique la plus externe, est constituée en grande partie de fibres de collagène. Elle possède également des fibres musculaires lisses (surtout pour les veines), des fibres nerveuses et des fibres élastiques. Dans les très gros vaisseaux, on trouve également des *nervi vasorum*, petits vaisseaux qui irriguent les parois épais.

■ **L'artère et les variations de pression**

L'artère et les grosses artères systémiques présentent des parois pauvres en muscles lisses, mais riches en collagène et en fibres élastiques. Cela confère, à l'artère en particulier, élasticité et compliance. Cette compliance artérielle élevée permet ainsi d'emmagasiner le sang pendant la systole puis de le redistribuer ensuite durant la diastole (figure 3). Les conséquences de ces propriétés sont une transformation d'un flux sanguin cardiaque discontinu en un flux artériel continu et un amortissement progressif des variations de pression sanguine le long du circuit artériel.

**Figure 3 Le comportement de l'artère et des grosses artères lors de la systole et de la diastole.**

■ **Les artérioles, un réservoir de pression**

Les parois des artérioles sont riches en muscles lisses, donnant à ces vaisseaux des propriétés contractiles importantes. Cette vasoconstriction a un impact à la fois sur le diamètre vasculaire et sur la résistance artériolaire. Le faible rayon artériolaire permet de maintenir une pression artérielle élevée en amont de ce segment. Ce réservoir de pression fonctionne avec un volume de sang réduit et permet un ajustement efficace du débit sanguin au niveau des zones d'échanges situées en aval.

■ **Les capillaires et les échanges avec le milieu interstitiel**

Les capillaires sont, individuellement, de très petits vaisseaux. Cependant, ils sont organisés en réseaux et développent de grandes sections globales de passage. Lors de son passage dans le segment capillaire, le sang a donc une vitesse très faible. Par ailleurs, la paroi capillaire est de très faible épaisseur (une seule assise cellulaire) et facilite les phénomènes de diffusion. Ces deux caractéristiques permettent la réalisation des échanges entre le sang et le milieu interstitiel. La diffusion est le mécanisme principal des échanges. Ces derniers sont régis par un jeu de pressions hydrostatique et oncotique qui permet la réalisation d'une filtration à l'extrémité artérielle du capillaire et d'une réabsorption à son extrémité veineuse (figure 4).

**Figure 4 Filtration et réabsorption dans les capillaires.**

La pression nette est égale à la différence entre pression hydrostatique capillaire et pression osmotique colloïdale (ou pression oncotique). À l'extrémité artérielle, la pression hydrostatique est supérieure à la pression oncotique : il en résulte une pression nette de filtration. À l'opposé, à l'extrémité veineuse le jeu des pressions est inversé, la pression nette allant dans le sens d'une réabsorption.

■ **Les veines, un réservoir de volume**

La richesse en fibres élastiques, associée à une relative pauvreté en fibres musculaires lisses et à un grand diamètre, font du circuit veineux une zone de faible résistance et de forte capacité. La position des veines, en fin de circuit vasculaire, en fait une zone à faible pression. Ce différentiel de pression est toutefois suffisant pour permettre le retour du sang vers le cœur. Il est modulé par la pression intra-auriculaire droite, la ventilation, ou encore la position du corps. Par ailleurs, la

Plus de 800 schémas et photos pour illustrer chaque notion importante.

# cet ouvrage ?

En fin de chapitre, 10 QCM pour s'entraîner.

Les réponses commentées au verso.

**QCM**

Indiquez la réponse exacte.

1 - Les muscles squelettiques des Vertébrés permettent les mouvements :

- a - des organes au sein de l'organe
- b - des organes aux muscles
- c - des pièces squelettiques les uns par rapport aux autres

2 - L'ATP constitue l'énergie de réserve des fibres musculaires :

- a - oui
- b - non
- c - parfois

3 - Le calcium permet la contraction musculaire en :

- a - se liant sur l'ATP
- b - créant un lien entre l'actine et la myosine
- c - se fixant sur la troponine
- d - se fixant sur la tropomyosine

4 - La contraction musculaire est due :

- a - au raccourcissement des filaments de myosine
- b - au raccourcissement des filaments d'actine
- c - à l'augmentation de diamètre du muscle
- d - au glissement des filaments épais par rapport aux filaments fins

5 - Les tubules transversés des fibres musculaires striées sont :

- a - issus de l'appareil de Golgi
- b - des dérivés de la membrane plasmique
- c - des différenciations du réticulum endoplasmique

6 - Chez les Vertébrés, les neurones commandant la contraction musculaire sont :

- a - issus du cortex moteur
- b - localisés dans la moelle épinière
- c - localisés dans des ganglions nerveux

7 - La jonction neuromusculaire est une synapse dont le neuromédiateur est :

- a - le glutamate
- b - l'acétylcholine
- c - la sérotonine
- d - un peptide

8 - La transmission synaptique entre le motoneurone et la fibre musculaire :

- a - peut être modulée au niveau postsynaptique par l'action d'autres neuromédiateurs
- b - peut être modulée au niveau présynaptique par l'action d'autres neuromédiateurs
- c - n'est pas modulable

9 - Le réflexe myotatique est un réflexe :

- a - monosynaptique
- b - polysynaptique
- c - associé à une stimulation douloureuse du muscle

10 - La programmation du mouvement est réalisée par :

- a - le cerveau
- b - les ganglions de la base, les aires motrices et le cervelet
- c - uniquement le cervelet
- d - le cortex moteur

© Dunod. Tous droits réservés sous réserve de crédits.

**La maîtrise**

507

**Réponses**

1 - c. Les muscles squelettiques sont effectivement fixés sur des pièces squelettiques et permettent leurs mouvements relatifs, de façon comparable à des systèmes à engrenage. Les organes ne se déplacent pas dans l'organe, et leurs mouvements propres sont assurés par des muscles lisses insérés dans le paroi.

2 - b. L'ATP n'est pas une molécule de réserve énergétique. Suite à sa dégradation, il est réparti en permanence à l'échelle de la cellule. La créatine peut constituer une réserve locale capable de donner de l'ATP rapidement.

3 - c. Le calcium se fixe sur la troponine, ce qui libère la tropomyosine pour former les ponts d'actine-myosine.

4 - d. Lors de la contraction musculaire, il n'y a pas de changement de longueur des filaments. Ceux-ci glissent les uns par rapport aux autres. L'augmentation de diamètre du muscle est due à son raccourcissement et non l'inverse.

5 - b. La membrane plasmique des fibres musculaires s'organise pour former les tubules transversés qui sont proches du réticulum sarcoplasmique, mais en sont les dérivés. L'appareil de Golgi n'est pas plus développé dans les fibres musculaires que dans la plupart des autres cellules.

6 - b. Les motoneurones issus du cortex moteur font des faisceaux qui, eux, innervent directement les fibres musculaires striées. Chez les Vertébrés, il existe des ganglions nerveux uniquement au sein de certains organes autonomes de l'organisme (intestin, cœur, etc.).

7 - b. La jonction neuromusculaire est l'un des exemples les mieux connus de jonction cholinergique. La partie post-synaptique possède des récepteurs nicotiques constituant des canaux ioniques perméables aux cations.

8 - c. Chez les Vertébrés, la jonction neuromusculaire n'est effectivement pas modulable. Au plan fonctionnel, ceci permet au système nerveux central de commander des mouvements transmis par la même manière. Les modulations évolutives qui peuvent se produire au niveau des synapses du système nerveux central.

9 - a. Le réflexe myotatique met en jeu une seule synapse. Il est donc monosynaptique, contrairement au réflexe de flexion polysynaptique. Sa mise en jeu se fait par un faible étirement du muscle. Il n'est donc absolument douloureux pour des valeurs de stimulation élevées.

10 - b. La programmation du mouvement met en jeu un ensemble de structures cérébrales. La moelle peut intervenir dans l'organisation de mouvements rythmiques, mais en aucun cas dans la programmation d'un mouvement volontaire.

508

Des focus techniques ou historiques sur une page à la fin de chaque chapitre.

Et aussi...

- ▶ Un glossaire français/anglais
- ▶ Une liste des abréviations utilisées dans l'ouvrage

**FOCUS** Les « blobs », des Eucaryotes particuliers ?

**1. Cytologie et développement**

Le sumon de « blob » a été donné à un unicellulaire amibozoïde *Physarum polycephalum*, qui présente des caractéristiques physiologiques très particulières.

Cet organisme unicellulaire vit dans les milieux frais et humides tels que la litière des forêts.

Cet organisme possède des milliers de répliques de son noyau, ce qui permet aussi bien sa fragmentation que la fusion des fragments.

En 1824 Lewis David von Schwann lui attribue le nom de *Physarum polycephalum*, signifiant « petite vessie » à plusieurs têtes ». Il a été surnommé « le blob » au XX<sup>e</sup> siècle, en référence au film de science-fiction *The Blob* dans lequel un extraterrestre géant et gluant pose en volant les habitants.

La principale phase végétative est constituée d'un plasmode. Dans celui-ci, des flux protoplasmiques assurent la distribution des nutriments et des nombreux noyaux. Il n'existe pas de véritable cytotaxonomie, et les mouvements sont assurés par des interactions entre molécules d'actine, comparables à ceux impliqués dans l'extension des pseudopodes des neurones lors de la neurogenèse.

En cas de dessiccation du milieu, le plasmode se transforme en un zélate multi-nucléé et constitué de tous renforcés associés en tracts de dormance courts de longues périodes. Une fois les conditions favorables revenues, le plasmode réapparaît.

Dans certaines conditions, le plasmode diploïde entre en phase de reproduction. Il produit, suite à la méiose, un sporophore composé d'un corps de fructification, le sporocyste, qui porte des spores haploïdes. Le sporocyste est porté par un pédoncule constitué de cellules rigides dotées de parois celluloseuses. Les sporocystes se forment habituellement à l'air libre, les spores étant alors dispersées par le vent. Ces spores peuvent rester viables pendant des années. Lorsque les conditions environnementales sont favorables à la croissance, les spores germent et libèrent des cellules soit flagellées, soit amibocides (stades mobiles) selon les conditions du milieu. Ces cellules fusionnent ensuite pour former un nouveau plasmode.

Depuis, la fusion n'a lieu que si les *Physarum polycephalum* sont de types sexuels différents.

En fait, le type sexuel est déterminé par trois sites génétiques, notés matA, matB et matC, lesquels disposent respectivement de 30, 15 et 3 allèles connus soit un total de 720 combinaisons différentes possibles.

**2. Capacité d'habitation**

L'une des particularités de cet organisme unicellulaire est sa capacité à développer des « apprentissages » de type habituation lors de la recherche de nourriture.

En effet, diverses expérimentations ont permis de montrer que *P. polycephalum* présente une réponse d'habitation lors de la présentation répétée d'une situation identique, et réagit spontanément en comportement « d'organe en deux jours lorsqu'il est replacé dans les conditions initiales (figure 1). De plus, la réponse d'origine continue à se produire lors de la présentation d'un stimulus différent. Ces réponses caractérisent un apprentissage de type habituation d'une simple adaptation sensorielle ou d'une fatigue « motrice ».

Cette habituation agit certainement sur les chémorécepteurs musculaires de *P. polycephalum*.

Le « blob » n'est certainement pas le seul organisme unicellulaire à présenter ce type d'apprentissage, mais sa vitesse d'acquisition en a fait un modèle expérimental plus facile à utiliser.

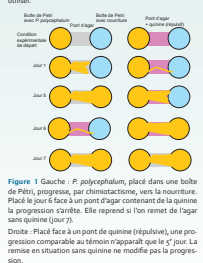


Figure 1. Gauche : *P. polycephalum*, placé dans une boîte de Pétri, progresse, par chemotaxisme, vers la nourriture. Place le sur face à un pont d'agar contenant de la quinoline la progression s'arrête. Elle reprend si l'on remet de l'agar sans quinoline (cour. 2). Droite : Place face à un pont de quinoline (réplique), une progression comparable au témoin réapparaît que le 5<sup>e</sup> jour. La remise en situation sans quinoline ne modifie pas la progression.

**www**

**Les bonus web sur Dunod.com**

- ▶ Des sujets de synthèse avec leurs corrigés
- ▶ Des animations de processus dynamiques
- ▶ Des QCM corrigés supplémentaires
- ▶ Des compléments de cours

# Abréviations

5HT	5 hydroxytryptamine, sérotonine	CAP	<i>Catabolism Activating Protein</i>	FSH	<i>Folliculo Stimulating Hormone</i>
A	Adénine	Cas	<i>CRISPR associated</i>	G	Guanine
AAP	<i>Actin Associated Protein</i>	CASPASE	<i>Cysteine Aspartate Specific Protease</i>	GA	<i>Gibberellic Acid</i>
ABA	<i>ABscissic Acid</i>	CBG	<i>Corticosteroid Binding Globulin, Transcortine</i>	GABA	<i>Gamma Amino-Butyric Acid</i>
ABP	<i>Auxine Binding Protein</i>	CCK	<i>CholéCystoKinine</i>	GALT	<i>Gut Associated Lymphoid Tissue</i>
AC	Adenyl cyclase	Cdc6	<i>Cell division cycle 6</i>	GAP	<i>GTPase Activating Protein</i>
ACC	<i>Acetyl-CoA Carboxylase</i>	Cdk	<i>Cyclin dependant kinase</i>	GBP	<i>GSK Binding Protein</i>
ACh	Acétylcholine	CdkI	<i>Cyclin dependant kinase Inhibitor</i>	GDH	<i>Glutamate DesHydrogenase</i>
AChE	Acétylcholine Esterase	CDS	<i>Cytosolic DNA Sensor</i>	GDI	<i>Guanine nucleotide Dissociation Inhibitor</i>
ACTH	<i>Adrenal CorticoTrophin Hormone, Corticotrophine</i>	Cdt1	<i>Cdc10 dependent transcript 1</i>	GDNF	<i>Glial-Derivated Nerve growth Factor</i>
ADCC	<i>Antibody-Dependent Cell-mediated Cytotoxicity</i>	CK	CytoKinine	GDP	<i>Guanosine DiPhosphate</i>
ADH	<i>AntiDiuretic Hormone</i>	CLR	<i>C-Lectin type Receptor</i>	GEF	<i>Guanine nucleotide Exchange Factor</i>
ADN (DNA)	Acide désoxyribonucléique, <i>Desoxyribo Nucleic Acid</i>	CMH	Complexe Majeur d'Histocompatibilité	GFAP	<i>Glial Fibrillary Acidic Protein</i>
ADP	Adénosine DiPhosphate	COMT	Catéchol-O-Méthyl-Transférase	GH	<i>Growth Hormone</i>
ADPRc	<i>ADP Ribose cyclique</i>	COP	<i>COat Protein</i>	GHIH	<i>Growth Hormone Inhibiting Hormone, Somatostatine</i>
AER	<i>Apical Ectodermal Ridge</i>	CPA	Cellule Présentatrice de l'Antigène	GHRH	<i>Growth Hormone Releasing Hormone, Somatocrinine</i>
AGMI	Acide Gras Mono-Insaturé	CPE	<i>Cytoplasmic Polyadenylation Element</i>	Glu	Glutamate
AGPI	Acide Gras Poly-Insaturé	CPEB	<i>CPE Binding protein</i>	GluT	<i>Glucose Transporter</i>
AGS	Acides Gras Saturé	CPG	<i>Central Pattern Generator</i>	GMPc	<i>Guanosine MonoPhosphate cyclique</i>
AHKs	<i>Arabidopsis hybrid Histidine protein Kinases</i>	CR	<i>Complement Receptor</i>	GnRH	<i>Gonadotropine Releasing Hormone, Gonadolibérine</i>
AIA	<i>Acide Indol-3 Acétique</i>	CRH	<i>Corticotropin Releasing Hormone, Corticolibérine</i>	GNRp	<i>Guanine Nucleotide Releasing Protein</i>
AIF	<i>Apoptosis-Inducing Factor</i>	CRISPR	<i>Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats</i>	GOGAT	<i>Glutamine Oxo-Glutarate AminoTransferase</i>
AMPA	<i>2-Amino-3-(5-Méthyl-3-hydroxy-1,2-oxazol-4-yl) Propanoïque Acide</i>	DA	DopAmine	GS	<i>Glutamine Synthetase</i>
AMPc	Adénosine Monophosphate Cyclique	DAG	Di-Acyl Glycérol	GSK	<i>Glycogen Synthetase Kinase</i>
ANF	<i>Atrial Natriuretic Factor</i>	DAMP	<i>Danger Associated Molecular Pattern</i>	GTP	<i>Guanosine TriPhosphate</i>
AP	Adaptine	dB	Décibel	Hb	Hémoglobine
Apaf	<i>Apoptotic protease-activating factor</i>	DBD	<i>DNA Binding Domain</i>	hCG	<i>Human Chorionic Gonadotropin</i>
APC	<i>Anaphase Promoting Complex</i>	DBO	<i>Demande Biochimique en diOxygène</i>	HLA	<i>Human Leucocyte Antigen</i>
ARF	Afférents du Réflexe de Flexion	DC	<i>Dendritic Cell</i>	HR	<i>Hypersensitive Response</i>
ARN (RNA)	Acide ribonucléique, <i>RiboNucleic Acide</i>	DCO	<i>Demande Chimique en diOxygène</i>	HRE	<i>Hormone Response Element</i>
ARNi	ARN interférent	DDCP	<i>DNA Damage CheckPoint</i>	HRGP	<i>Hydroxyproline Rich GlycoProtein</i>
ARNm	ARN messenger	ddp	Différence de potentiel	Hsp	<i>Heat shock protein</i>
ARNmi	micro-ARN	DHPR	<i>DiHydroPyridines Receptor</i>	HTRA2	<i>High Temperature Regulated protein A2</i>
ARNsi	<i>small interfering ARN</i>	Diablo	<i>Direct IAP binding protein with low pl</i>	Hz	Hertz
ARNt	ARN de transfert	DIP	<i>Disulfure Isomerase Protein</i>	IBGN	<i>Indice BioGénéral Normalisé</i>
ARS	<i>Autonomously Replicating Sequence</i>	DIT	Di-IodoTyrosine	ICAM	<i>Inter Cellular Adhesion Molecule</i>
AS	Acide Salicylique	DSCF	<i>Doppler-Shifted Constant Frequencies</i>	ICD	<i>Immunogenic Cell Death</i>
AS	<i>Asparagine Synthetase</i>	ECG	<i>ÉlectroCardioGramme</i>	Ig	Immunoglobline
ASC	<i>Amiloride sensitive Sodium Channel</i>	ERF	<i>Endothelium Relaxing Factor</i>	IL	InterLeukine
ASIC	<i>Acid Sensitive Ionic Channel</i>	ETR	<i>EThylene Receptor</i>	ILC	<i>Innate Lymphoid Cell</i>
ATP	Adénosine TriPhosphate	FAD	<i>Flavine Adenine Dimucléotide</i>	ILT	<i>Ig-Like Transcripts</i>
BCR	<i>B Cell Receptor</i>	FcR	<i>Fc Receptor</i>	INF	Interféron
BDNF	<i>Brain Derivated Nerve growth Factor</i>	FDC	<i>Follicular Dendritic Cell</i>	IP <sub>3</sub>	<i>Inositol tri-Phosphate</i>
BER	<i>Base Excision Repair</i>	FGF	<i>Fibroblastic Growth Factor</i>	IPC	<i>Interferon Producing Cell</i>
BP	<i>Binding Protein</i>	FISH	<i>Fluorescence In Situ Hybridization</i>	IPEX	<i>Immunodysregulation Polyendocrinopathy Enteropathy X-linked syndrome</i>
C	Cytosine	FMN	<i>Flavine MonoNucleotide</i>		
CAK	<i>Cdk Activating Kinase</i>	FNR	<i>Ferredoxine NADP-Reductase</i>		
CAM	<i>Cell Adhesion Molecule</i>				
CAM	<i>Crassulacean Acid Metabolism</i>				

IPP	Iso Pentenyl Pyrophosphate	NTS	Noyau du Tractus Solitaire	SC	Stimulus Conditionnel
IRM	Imagerie par Résonance Magnétique	OAS	<i>Oligo-Adenylate Synthetase</i>	SCID	<i>Severe Combined ImmunoDeficiency</i>
ISR	<i>Induced Systemic Resistance</i>	OEC	<i>Oxygen Evolving Complex</i>	SDS	<i>Sodium Dodecyl Sulfate</i>
ITAM	<i>Immunoreceptor Tyrosine-based Activating Motif</i>	ORC	<i>Origin Recognition Complex</i>	SGLT	<i>Sodium Glucose Linked Transporter</i>
ITIM	<i>Immunoreceptor Tyrosine-based Inhibition Motif</i>	ORF	<i>Open Reading Frame</i>	SI	Stimulus Inconditionnel
JH	<i>Juvenile Hormone</i>	P2X	Récepteur purinergique	SIDA	Syndrome de l'Immuno-Déficience Acquise
KIR	<i>Killer cells Ig-like Receptors</i>	PABPI	<i>Poly A Binding Protein I</i>	SNA	Système Nerveux Autonome
LAR	<i>Local Acquired Resistance</i>	PAF	<i>Platelet Activating Factor</i>	SNAP	<i>Soluble NSF Attachment Protein</i>
LDB	<i>Ligand Binding Domain</i>	PAL	<i>Phenylalanine Ammonia Lyase</i>	SNAP25	<i>Synaptosomal Association Protein of 25 kDa</i>
LDL	<i>Low Density Lipoprotein</i>	PAM	<i>Protospacer Adjacent Motif</i>	SNARE	<i>SNAP Receptor</i>
LFA	<i>Leucocyte Function Antigene</i>	PAMP	<i>Pathogen Associated Molecular Pattern</i>	SNC	Système Nerveux Central
LH	<i>Luteinising Hormone</i>	PCNA	<i>Proliferating Cell Nuclear Antigen</i>	SnNRP	<i>Small Nuclear RibonucleoProtein</i>
LHC	<i>Light Harvesting Complex</i>	PCR	<i>Polymerase Chain Reaction</i>	SNV	Système NeuroVégétatif
LIR	<i>Leucocyte Ig-like Receptor</i>	PDE	PhosphoDiEstérase	SP	Substance P
LOV	<i>Light Oxygen Voltage</i>	PEP	PhosphoEnol Pyruvate	SPL	<i>Sound Pressure Level</i>
LPS	LipoPolySaccharide	PEPc	<i>PhosphoEnol Pyruvate carboxylase</i>	SRP	<i>Signal Recognition Protein</i>
LTA	<i>Lipoteichoic Acid</i>	PET	<i>Positrons Emission Tomography</i>	SSB	<i>Single Strand Binding protein</i>
LTR	<i>Long Terminal Repeat</i>	PI	<i>Phosphatidyl-Inositol</i>	T	Thymine
LTTD	<i>Lateral Trigeminal Tract Down</i>	PIF	<i>Phytochrome Interaction Factor</i>	T3	Tri-iodothyronine
MALT	<i>Mucosa-Associated Lymphoid Tissue</i>	PIH	<i>Prolactine Inhibitory Hormone</i>	T4	Tétra-iodothyronine – thyroxine
MAO	MonoAmines Oxydase	PKA	Protéine Kinase AMPC-dépendante	TAF	<i>TBP Associated Factor</i>
MAMP	<i>Microbial Associated Molecular Pattern</i>	PKC	PhosphoKinase C	TAP	<i>Transporter associated with Antigen Processing</i>
MAP	<i>Microtubule Associated Protein</i>	PKR	<i>Protein Kinase R</i>	TBP	<i>TATA box Binding Protein</i>
MAPK	<i>MAP Kinase</i>	PLC	PhosphoLipase C	TCR	<i>T Cell Receptor</i>
MASP	<i>MBP Associated Protein</i>	PLT	Potentialisation à Long Terme	TF	<i>Transcription factor</i>
MBL	<i>Mannose Binding Lectin</i>	PP	Pyrophosphate	TGF	<i>Transformation Growth Factor</i>
MBP	<i>Mannose Binding Protein</i>	Ppi	<i>Pyrophosphate ion</i>	TGN	<i>Trans Golgian Network</i>
Mcm	<i>Minichromosome maintenance</i>	PPSE	Potentiel Post Synaptique Excitateur	Th	<i>Lymphocyte T helper</i>
MCP	<i>Mitotic CheckPoint</i>	PPSI	Potentiel Post Synaptique Inhibiteur	TIM	<i>Translocase of the Inner Membrane</i>
MDSC	<i>Myeloid Derived Suppressive Cell</i>	PR	<i>Pathogenesis Related</i>	TK	TachyKinines
MEC	Matrice ExtraCellulaire	PRH	<i>Prolactine Releasing Hormone</i>	TK	Thimidine Kinase
MIC	<i>MHC Class 1 related</i>	PrP	<i>Prion Protein</i>	TLR	<i>Toll Like Receptor</i>
MIT	Mono-IodoTyrosine	PRR	<i>Pattern Recognition Receptor</i>	TMAO	<i>TriMethylAmine Oxyde</i>
MPF	<i>Mitotic Promoting Factor</i>	PS	PhotoSystème	TNF	<i>Tumor Necrosis Factor</i>
MPO	MyéloPerOxydase	PTH	<i>ParaThyroid Hormone - Parathormone</i>	TOM	<i>Translocase of the Outer Membrane</i>
MTOC	<i>MicroTubule Organizing Center</i>	PZ	<i>Progress Zone</i>	tracr RNA	<i>transacting small RNA</i>
NA	Nord Adrénaline	RCP	<i>Replication CheckPoint</i>	TRH	<i>Thyrotropin Releasing Hormone, Thyréolibérine</i>
NAD	<i>Nicotinamide Adenine Dinucleotide</i>	RE	<i>Response Element</i>	TRP	<i>Transient Receptor Potential</i>
NADP	<i>Nicotinamide Adenine Dinucleotide Phosphate</i>	RE-BP	<i>Response Element – Binding Protein</i>	TSH	<i>Thyroid Stimulating Hormone, Thyréotrophine</i>
NCR	<i>Natural Cytotoxicity Receptors</i>	RER (REG)	<i>Rough Endoplasmic Reticulum, Réticulum Endoplasmique Granuleux</i>	Tus	<i>Terminus utilisation substance</i>
NER	<i>Nucleotides Excision Repair</i>	RF	<i>Releasing Factor</i>	UCP	<i>UnCoupled Protein</i>
NGF	<i>Nerve Growth Factor</i>	RFc	<i>Fc Receptor</i>	UDP	Uridine DiPhosphate
NiR	<i>Nitrite Reductase</i>	RF-C	<i>Replicating Factor C</i>	UTP	Uridine TriPhosphate
NK	<i>Natural Killer</i>	RISC	<i>RNA Induced Silencing Complex</i>	UTR	<i>UnTranslated Region</i>
NKR	<i>NK cells Receptors</i>	RLH	<i>Rig-1-Like Helicase</i>	VAMP	<i>Vesicle Associated Membrane Protein</i>
NKT	<i>Natural Killer T cell</i>	ROI	<i>Reactive Oxygen Intermediates</i>	VLDL	<i>Very Low Density Lipoprotein</i>
NLR	<i>NOD-Like Receptor</i>	RPA	<i>Replicating Protein A</i>	XP	<i>Xeroderma Pigmentosus</i>
NMDA	N-Méthyl-D-Aspartate	RubisCO	Ribulose 1,5 bisphosphate Carboxylase/Oxygénase	XTH	<i>Xyloglucane</i>
NO	<i>Nitric Oxyde, monoxyde d'azote</i>	RXR	<i>Retinoid X Receptor</i>	YAC	<i>Yeast Artificial Chromosome</i>
NPC	<i>Nuclear Pore Complex</i>	RyR	<i>Ryanodine Receptor</i>	ZO	<i>Zonula Occludens</i>
NR	<i>Nitrate reductase</i>	SAR	<i>Systemic Acquired Resistance</i>		
NRT	Noyau Réticulaire				
NSF	Thermosensible				
	<i>N-ethylmaleimide Sensitive Factor</i>				

# Remerciements

Nous tenons à remercier tout particulièrement plusieurs collègues ou autres personnes de notre entourage qui, à divers titres, nous ont permis de réaliser cet ouvrage :

- Annie Balay, ancienne professeure de lycées et collèges
- Vanessa Beunèche, éditrice
- Marie Conrath, ancienne directrice de recherches CNRS, Paris
- Monique Gauthier, ancienne professeure d'Université, Toulouse
- Yves Gioanni, ancien maître de conférences d'Université, Paris
- Laetitia Jammet, éditrice
- Françoise Lauga, ancienne professeure d'Université, Toulouse
- Jacques Lauga, ancien professeur d'Université, Toulouse
- Gaëlle Richard, assistante de collection, Université Rennes I
- Jean-Pierre Richard, ancien ingénieur de recherche, Rennes
- Mélanie Richard, ingénieure agricole, Paris



PARTIE

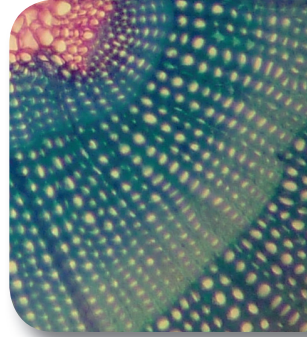
1

# L'organisation des systèmes biologiques



# Chapitre 1


# L'organisation des cellules du vivant



## Plan

<b>Fiche 1</b>	L'unité du vivant	<b>Fiche 7</b>	Membranes et compartimentation intracellulaire
<b>Fiche 2</b>	La cellule bactérienne	<b>Fiche 8</b>	Le cytosquelette
<b>Fiche 3</b>	La cellule des Archées	<b>Fiche 9</b>	Les mitochondries
<b>Fiche 4</b>	La cellule animale	<b>Fiche 10</b>	Les plastes
<b>Fiche 5</b>	La cellule végétale	<b>Fiche 11</b>	Le noyau des cellules eucaryotes
<b>Fiche 6</b>	La membrane plasmique		

## Les bonus web sur Dunod.com

- Testez vos connaissances sur ce chapitre avec le quiz en ligne corrigé et commenté !
- Retrouvez les documents complémentaires signalés par  dans les fiches.

Les êtres vivants sont caractérisés par trois points communs : ils sont organisés en cellules, ont une activité métabolique et sont capables de se reproduire. Cette définition exclut les virus qui ne peuvent se reproduire seuls.

## 1. L'organisation cellulaire des organismes vivants

### ■ Les Bactéries et les Archées

Les Bactéries et les Archées sont des organismes unicellulaires procaryotes, c'est-à-dire dépourvus de noyau. Les caractéristiques morphologiques de tous ces organismes sont extrêmement variables. Les espèces et leur parenté biologique sont définies sur la base de critères moléculaires, par comparaison de leurs séquences d'ARN 16S, voire par séquençage complet du génome.

Le matériel génétique de ces organismes est porté par un seul chromosome de structure circulaire, et parfois de plasmides plus petits.

Les Bactéries présentent deux caractéristiques qui les distinguent des autres domaines du vivant (figure 1) :

- elles possèdent une paroi cellulaire rigide formée de peptidoglycane contenant de l'acide muramique ;
- l'initiation de la traduction est assurée par un ARN de transfert qui porte une N-formyl méthionine et non de la méthionine comme chez les Archées et les Eucaryotes.

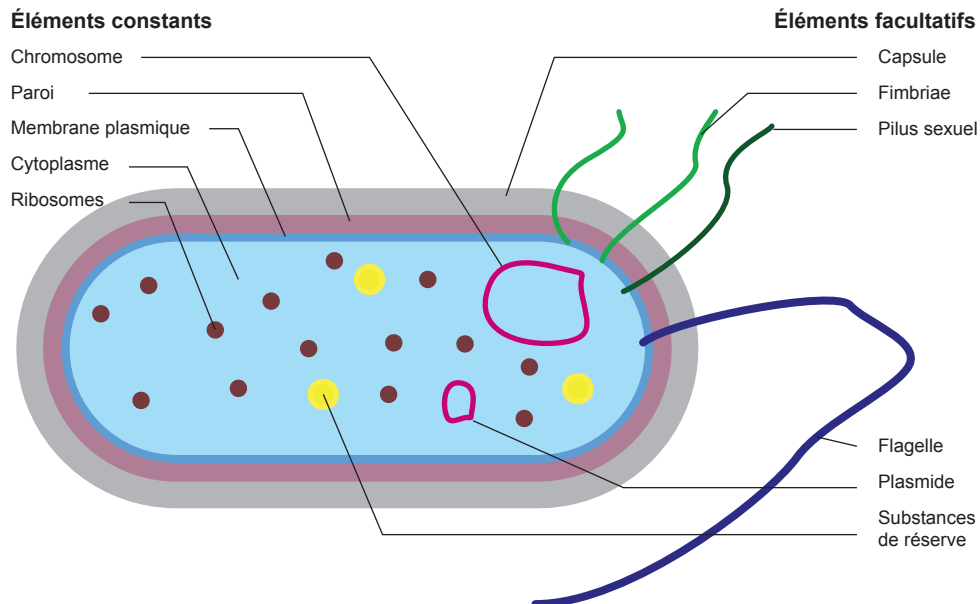
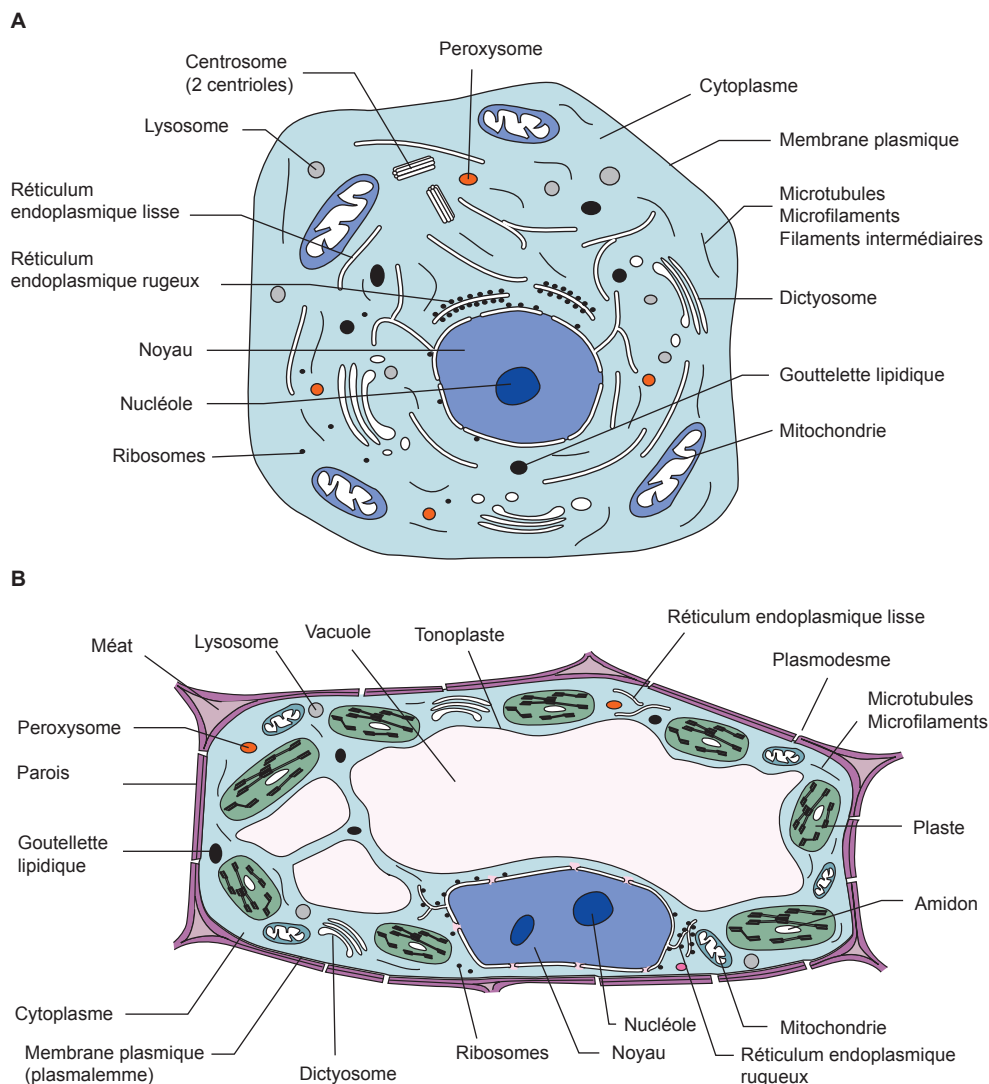


Figure 1 Schéma de Bactérie

### ■ Les Eucaryotes

Les cellules eucaryotes, plus complexes, possèdent un noyau protégeant plusieurs chromosomes linéaires. Autour se trouve le cytoplasme au sein duquel baignent des organites mono-membranaires (réticulum rugueux et lisse, dictyosomes, vésicules, mitochondries et, en plus pour les

cellules végétales, des plastes dont les chloroplastes) (figure 2). Ces cellules peuvent être soit isolées (exemple : chez les Ciliés) ou regroupées en tissus (exemple : chez les Mammifères et les Angiospermes).



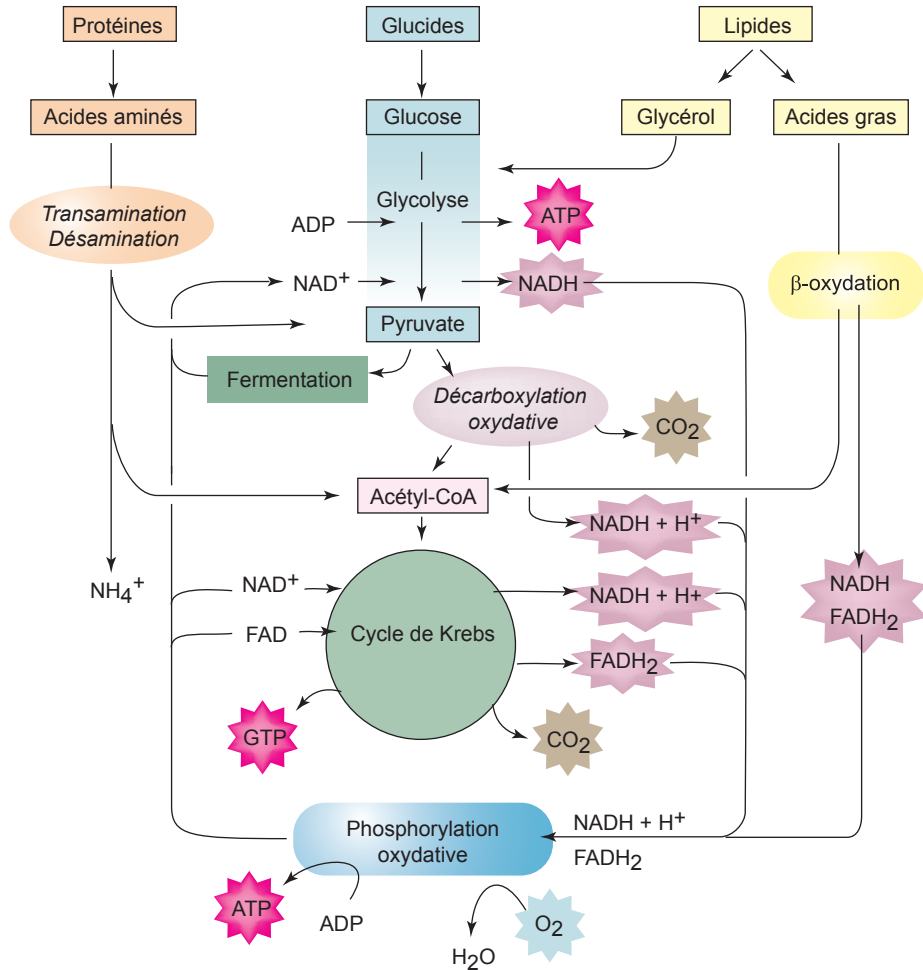
**Figure 2** Schéma de cellules eucaryotes  
**A** : Animale ; **B** : Végétale

## 2. L'activité métabolique des êtres vivants

Le catabolisme assure la production des molécules pourvoyeuses d'énergie au sein de la cellule telles que l'ATP et les coenzymes réduits.

En présence de dioxygène (aérobie), c'est la dégradation complète des glucides et des lipides lors de la respiration cellulaire qui assure cette production (figure 3).

En absence de dioxygène (anaérobie), la fermentation (lactique ou alcoolique), voie de dégradation partielle, est mise en jeu. Notons qu'en l'absence de dioxygène certains micro-organismes sont capables de faire de la respiration anaérobie.



**Figure 3** Les étapes de la glycolyse et du cycle de Krebs

L'anabolisme permet la synthèse des molécules plastiques (protéines, lipides, polynucléotides) qui entrent dans la construction de la cellule (membranes, matériel génétique, cytosquelette, etc.).

### 3. La capacité à se reproduire

La reproduction asexuée permet aux organismes pères de générer des individus fils à partir d'un lot de cellules qui sont issues de nombreuses divisions mitotiques. Ainsi, le génome est identique d'une génération à l'autre : c'est le clonage.

La reproduction sexuée est caractérisée par la formation de gamètes mâles, les spermatozoïdes, et de gamètes femelles, les ovocytes et ovules des animaux et oosphères des végétaux. Ces cellules sexuelles sont génétiquement originales car elles sont issues de la méiose qui assure des recombinaisons génétiques.

Lors de la fécondation, la rencontre des gamètes conduit à la formation d'un œuf, ou zygote. Cette étape permet l'association des différents gènes parentaux au sein d'un individu qui est alors un être génétiquement original.

# La cellule bactérienne

Les Bactéries, au même titre que les Archées, sont des organismes unicellulaires procaryotes, c'est-à-dire dépourvus de noyau. Comme tous ces organismes, les caractéristiques morphologiques sont extrêmement variables y compris au sein de groupes génétiquement très proches. C'est pourquoi, à l'heure actuelle, les espèces et leur parenté biologique sont définies sur la base de critères moléculaires, par comparaison de leurs séquences d'ARN 16S, voire par séquençage complet du génome.

Les Bactéries présentent deux caractéristiques qui les distinguent des autres domaines du vivant : elles possèdent une paroi cellulaire de peptidoglycanes contenant de l'acide muramique (sauf cas de perte secondaire comme chez les Mycoplasmes), et l'initiation de la traduction est assurée par un ARN de transfert qui porte une N-formyl méthionine et non de la méthionine comme chez les Archées et les Eucaryotes.

Comme pour les Archées, l'absence d'une véritable sexualité rend impossible de définir les espèces bactériennes sur un critère d'interfécondité. En revanche, des échanges d'ADN sont possibles entre individus appartenant à des groupes génétiquement très distants. De plus, le chromosome n'ayant qu'un seul allèle de chacun des gènes, les mutations sont immédiatement intégrées à l'ADN.

## 1. La morphologie des Bactéries

Les Bactéries présentent une morphologie très variable. De l'ordre du micromètre, leur taille varie de 0,1  $\mu\text{m}$ , pour les Mycoplasmes, à 0,3 mm pour les plus grosses telles *Thiomargarita namibiensis* (la perle de soufre de Namibie), voire 0,6 mm pour *Epulopiscium fishelsoni*, symbionte intestinal d'Actinoptérygiens.

Les diverses formes rencontrées sont les formes sphériques caractéristiques des coques, les formes cylindriques définissant les bacilles et les formes spiralées caractéristiques des Spirochètes.

La morphologie des Bactéries est adaptée à leur niche écologique et à leur capacité à se déplacer. Ainsi, les bactéries sphériques dont le rapport surface/volume est faible seraient avantagées dans des milieux riches en nutriments et sont rarement mobiles. Inversement, les bacilles, dont le rapport surface/volume est plus grand, seraient mieux adaptés à une vie dans des milieux pauvres. Ils peuvent par ailleurs être munis de flagelles et se déplacer.

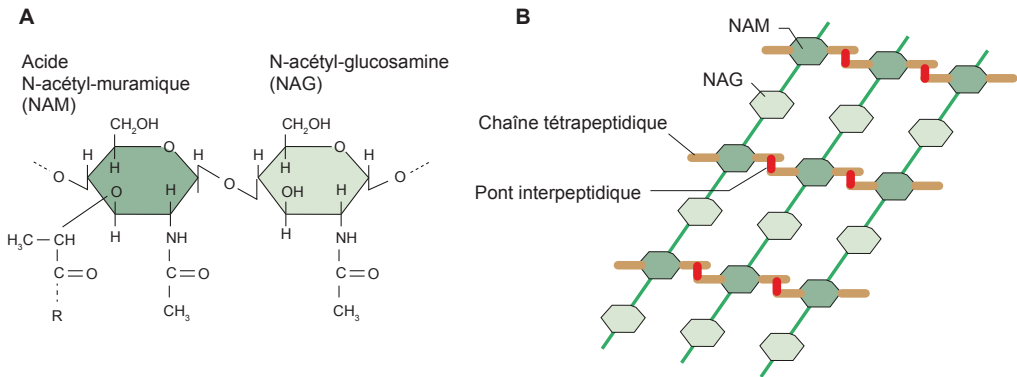
## 2. La paroi des Bactéries

La paroi est une structure rigide et résistante qui protège la bactérie et lui donne sa forme. Elle contient un polymère complexe constant, le peptidoglycane ou muréine. Formé de chaînes d'oses aminés (glucosamine et acide muramique, reliés par des liaisons  $\beta$  1,4) interconnectées par des enchaînements d'acides aminés constituant des ponts peptidiques (figure 1).

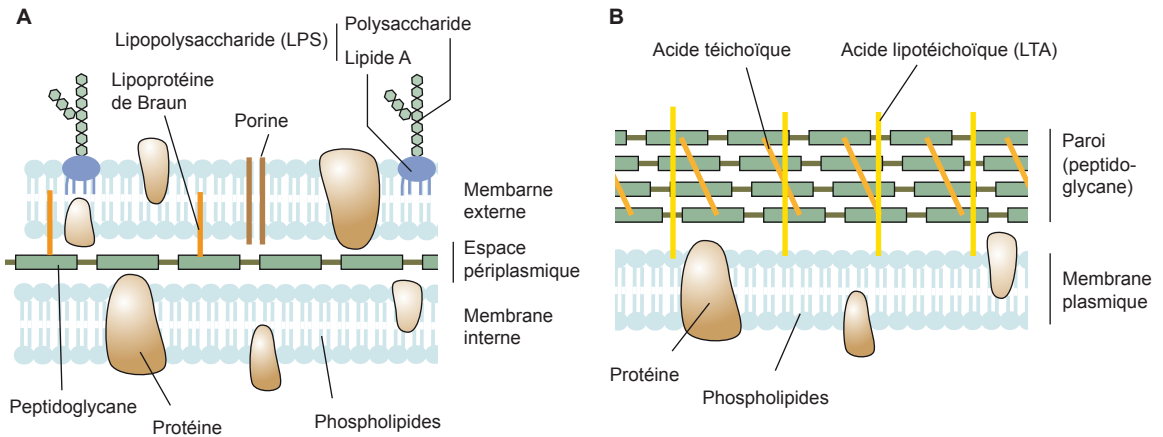
La plupart des Bactéries présentent une paroi de 10 nm d'épaisseur, constituée d'une fine couche de peptidoglycanes recouverte d'une membrane externe ou pariétale, renfermant des phospholipides, des lipopolysaccharides (LPS) et des protéines (figure 2A). La paroi de ces Bactéries ne retient pas la célèbre coloration de Gram, elles sont dites gram négatif (Gram-).

Un groupe de Bactéries, fortement apparentées, présente une paroi caractérisée par l'absence de la membrane externe et une hypertrophie du peptidoglycane. Cette paroi présente une structure homogène et une épaisseur variant de 10 à 80 nm (figure 2B). Elle renferme des acides téichoïques et lipotéichoïques (LTA). Cette paroi épaisse de peptidoglycane retient la coloration de Gram à l'intérieur de la cellule bactérienne qui est alors dite Gram positif (Gram+). C'est le cas par exemple des genres *Bacillus* (dont *B. anthracis*, agent de l'anthrax), *Clostridium* (dont *C. botuli* agent du botulisme), *Lis-*

*teria, Lactobacillus, Staphylococcus*, etc. Toutefois, ce groupe contient également les mycoplasmes, qui ont perdu la paroi, et apparaissent donc Gram– après coloration de Gram.



**Figure 1** Acide N-acétyl-muramique et N-acétyl-glucosamine (A) ; Peptidoglycane ou muréine (B)



**Figure 2** Structure schématique de la paroi des bactéries à Gram négatif (A) et des bactéries à Gram positif (B)

### 3. Exemples de caractéristiques spécifiques

Certaines espèces bactériennes peuvent s'entourer d'enveloppes supplémentaires de polysaccharides, plus ou moins structurées, telles que les capsules. Ces dernières jouent un rôle important dans le pouvoir pathogène des Bactéries en s'opposant à la phagocytose et à l'activation de la voie alterne du système du complément.

Certaines Bactéries produisent des appendices émergeant de la surface cellulaire. Les plus répandus sont les *fimbrae* qui interviennent dans les phénomènes d'adhésion, les *pili*, impliqués dans les processus de conjugaison, et les flagelles, assurant la mobilité des cellules.

La plupart des Bactéries renferment également des plasmides, molécules d'ADN bicaténaire, généralement circulaires, extra-chromosomiques, dont la taille varie de 1 à 300 kilobases, doués de répllication autonome et transmissibles de façon stable à la descendance. Ils confèrent parfois un avantage sélectif aux bactéries qui les hébergent. C'est le cas notamment des plasmides de résistance aux antibiotiques.

Enfin, certaines Bactéries ont la possibilité de sporuler lorsque les conditions de vie deviennent défavorables. Des endospores se forment alors au sein du cytoplasme. Elles diffèrent de la cellule végétative par leur forme, leur structure, leur équipement enzymatique et par leur résistance aux agents physiques et chimiques.



# La cellule des Archées

Les Archées, ou *Archaea*, constituent un groupe d'organismes procaryotes mis en évidence grâce à la phylogénie moléculaire de leurs gènes d'ARN ribosomique 16S. Les espèces biologiques, et leur parenté, sont définies essentiellement sur la base de leurs séquences d'ARN 16S, mais également par séquençage complet du génome.

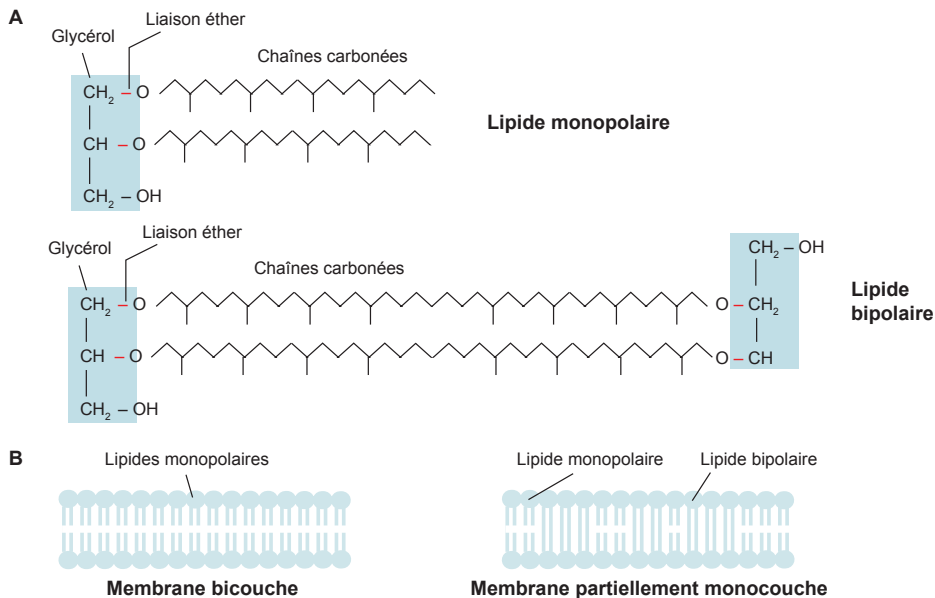
Comme pour les Bactéries, il est impossible de définir les espèces sur un critère d'interfécondité. Par ailleurs, les échanges d'ADN entre individus génétiquement très distants semblent également fréquents chez ces espèces. Enfin, comme pour tous les organismes unicellulaires, leurs caractéristiques morphologiques sont à la fois limitées et extrêmement variables entre espèces génétiquement proches.

## 1. La morphologie des Archées

Les Archées présentent une morphologie extrêmement variable : sphères, bâtonnets, plates, spirales, etc. Leur taille varie de 0,1 à 15  $\mu\text{m}$ . Elles peuvent se présenter sous forme isolée, sous forme de filaments allant jusqu'à 200  $\mu\text{m}$  ou encore d'agrégats. Le seul examen morphologique ne permet pas de les différencier des Bactéries. Initialement isolées dans des milieux extrêmes comme les sources hydrothermales des grands fonds marins, les milieux d'acidité, de salinité ou de températures extrêmes, elles ont été depuis isolées dans des milieux plus standards.

## 2. La membrane des Archées

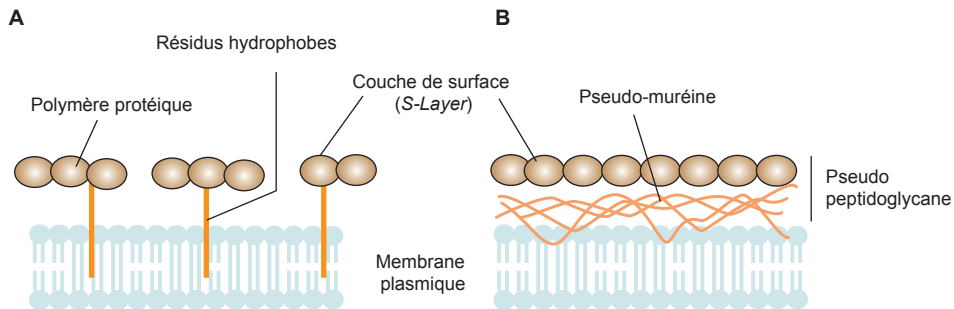
La membrane plasmique des Archées contient des acides gras liés au squelette de glycérol par des liaisons éther, contrairement à tous les autres organismes vivants chez qui cette liaison se fait par des liaisons ester. Dans la plupart des cas, également, les acides gras sont substitués par des chaînes isoprènes non ramifiées. De plus, les Archées contiennent de 1 à 95 % d'acides gras qui forment des groupements tétra-éther. Ces liaisons chimiques permettent la constitution de lipides bipolaires qui, lorsqu'ils sont présents à haute concentration, rigidifient la membrane plasmique en formant une membrane partiellement ou majoritairement monocouche (figure 1). Cette structure membranaire permet aux Archées de résister aux températures extrêmes.



### 3. La paroi des Archées

La plupart des Archées sont entourées d'une paroi rigide et résistante qui protège l'organisme et lui donne sa forme. La couche de surface (ou *S-layer*) de la paroi est constituée d'empilements de couches monomoléculaires de polymères protéiques ou glycoprotéiques qui, à la différence des Bactéries, ne contiennent pas de peptidoglycane (figure 2A). Le plus souvent, la couche de surface est ancrée à la membrane plasmique par des résidus hydrophobes, une structure qui ne permet pas de retenir la coloration de Gram (ces Archées sont par conséquent Gram-).

Certaines Archées méthanogènes présentent un pseudopeptidoglycane constitué d'une couche de surface ancrée à la membrane par de la pseudomuréine et sont alors Gram+. Ce pseudopeptidoglycane diffère du peptidoglycane des Bactéries par l'absence de D-aminoacides et d'acide N-acétylmuramique.



**Figure 2 La paroi des Archées**

A : Majorité des Archées ; B : Certaines Archées méthanogènes

### 4. Des Archées dans tous les milieux

Les Archées furent tout d'abord isolées dans des biotopes extrêmes (hyperthermique, acide, hyperhalin, etc.). Certaines furent découvertes dans des sources chaudes (parc de Yellowstone, États-Unis) comme *Thermococcus* dont la température optimale est comprise entre 55 °C et 70 °C. D'autres cumulent hyperthermophilie et acidophilie comme *Sulfolobus acidocaldarius* (température optimale : 80 – 95 °C, pH 1 à 5). De plus, comme beaucoup d'Archées hyperthermophiles, *S. acidocaldarius* est chimiolithotrophe (sulfoxydante). Elle se développe donc dans des milieux à hautes températures, forte acidité et hautes teneurs en soufre, comme en produisent les éruptions volcaniques. D'autres encore, comme *Halobacterium* ou *Haloferax* furent isolées dans des dépôts de sels (Mer morte, Jordanie/Israël ; Great Salt Lake, Utah, États-Unis) que l'on pensait jusque-là impropres à la vie.

Les Archées apparaissent aujourd'hui comme des micro-organismes très abondants dans des biotopes courants. En effet, selon des estimations récentes, elles représenteraient jusqu'à 20 % de la biomasse des milieux marins et des sols.

Les Archées jouent un rôle fondamental dans les cycles biogéochimiques, notamment celui de l'azote. Toutefois, dans les biotopes standards, elles occupent des niches où les ressources énergétiques sont limitées. Les Archées sont particulièrement résistantes au stress énergétique, que celui-ci soit dû à la rareté des ressources ou aux conditions physico-chimiques de l'écosystème. Rappelons que cette résistance semble due aux propriétés de leur membrane plasmique, et en particulier à la présence dans cette dernière de lipides bipolaires.

De façon étonnante, aucune Archée pathogène n'a été identifiée à ce jour et la seule espèce parasite, *Nanoarchaeum equitans* (0,35 µm), est un parasite d'Archées (*Ignicoccus*, 1 à 2 µm).

Bien que toutes les cellules animales possèdent des propriétés structurales et fonctionnelles communes (membrane, cytoplasme, organites, noyau, etc.), elles diffèrent en fonction des organismes, ainsi qu'en fonction de leur spécialisation au sein d'un tissu ou d'un organe.

Figure 1 Neurone en culture (MO)

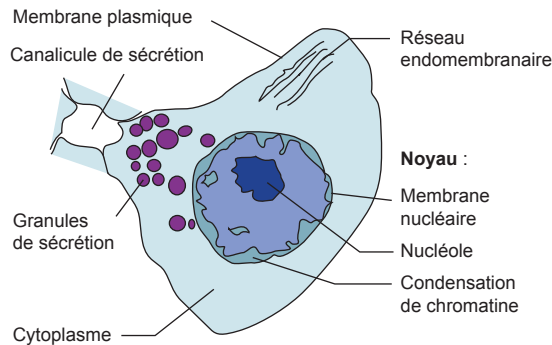
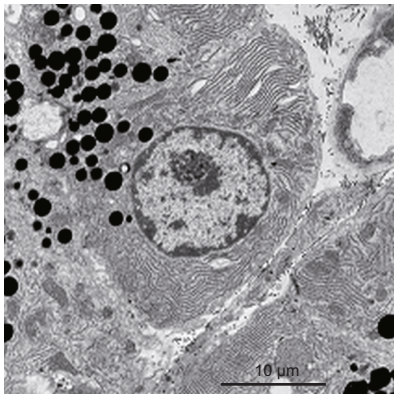
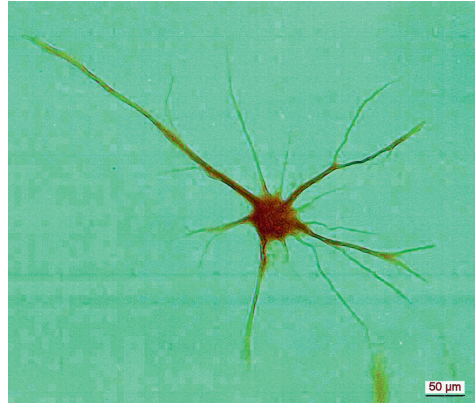


Figure 2 Cellule sécrétrice de glande salivaire de Rat (MET)

## 1. Organisation fonctionnelle générale

Comme toutes les cellules, les cellules animales possèdent une membrane limitante constituée d'une double couche de phospholipides dans lesquels sont incluses des protéines.

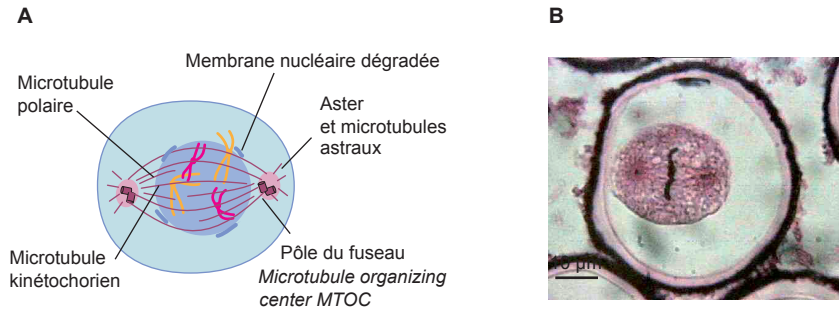
Le compartiment intracellulaire constitue le cytoplasme, lequel comprend (figure 2) :

- le noyau qui contient l'ADN, support de l'information génétique ;
- un réseau membranaire interne qui forme divers compartiments intracellulaires (réticulum, appareil de Golgi, etc.) ;
- un cytosquelette composé de microtubules, de microfilaments et de filaments intermédiaires ;
- des organites intracellulaires, les mitochondries, qui assurent la respiration cellulaire et qui proviennent d'une symbiose ancienne avec une Protéobactérie ;
- les flagelles, lorsqu'ils sont présents, présentent une structure caractéristique constituée de neuf doublets ou triplets de microtubules entourant deux microtubules centraux.

La division cellulaire, comme chez tous les Eucaryotes, se fait par mitose (et non par scissiparité comme chez les Archées et les Bactéries). Celle-ci correspond à une division conforme des cel-

lules, permettant d'obtenir des cellules filles identiques à la cellule mère. Elle se produit lors du développement embryonnaire et tout au long de la vie de l'organisme (figure 3).

Notons que l'alignement noyau-centrosome fournit « l'axe primaire » des cellules lors de la division cellulaire.



**Figure 3** Fuseau mitotique (A) et cellule d'œuf d'*Ascaris* en métaphase (B)

Enfin, les cellules présentent une véritable sexualité pour laquelle chaque type sexuel (mâle ou femelle) contribue à égalité au patrimoine génétique de la cellule fille. Contrairement aux organismes à structure procaryote qui ne présentent que des échanges génétiques partiels entre cellules, les Eucaryotes sont capables de produire des gamètes haploïdes par méiose. Au cours de ce processus, répartis en deux divisions successives, les chromosomes d'origines paternelle et maternelle sont recombinaés, brassés et séparés en deux lots qui contribuent chacun pour moitié au génome des cellules descendantes issues de la fécondation.

## 2. La membrane plasmique

La membrane plasmique est constituée d'une double couche de phospholipides dans laquelle sont enchâssées (ou simplement fixées) des protéines ou des glycoprotéines. En fonction de leur structure, ces protéines assurent différentes fonctions : canaux (échanges), récepteurs des lymphocytes membres de la superfamille des immunoglobulines (reconnaissance), récepteurs (communication intercellulaire), protéines d'adhésion (adhérence et jonctions cellulaires).

## 3. Le cytosol

Le cytosol est une émulsion colloïdale contenant de nombreux organites, ainsi que les éléments du cytosquelette, ayant des structures et des fonctions variées. L'ensemble cytosol et cytosquelette constitue l'hyaloplasme. Le cytoplasme désigne l'ensemble du contenu de la cellule.

Les organites sont limités soit par une simple soit par une double membrane, et ils constituent des systèmes de compartimentation anatomiques et fonctionnels intracellulaires.

La structure cellulaire est assurée par un cytosquelette plus ou moins développé, selon le type cellulaire.

Au sein de la cellule, les organites sont constamment mis en mouvement sous l'action de l'assemblage et du désassemblage de protéines « contractiles ».

## 4. Le noyau

Le noyau contient l'ADN, support de l'information génétique, sous forme de fins filaments associés à des protéines. Il comprend une zone acidophile, le nucléole, qui correspond au lieu de la transcription de l'ADN.

Le noyau est délimité par une double membrane en relation avec le réticulum endoplasmique. Cette membrane est interrompue par des pores nucléaires au niveau desquels se font les échanges entre le milieu intranucléaire et le cytoplasme.

# La cellule végétale

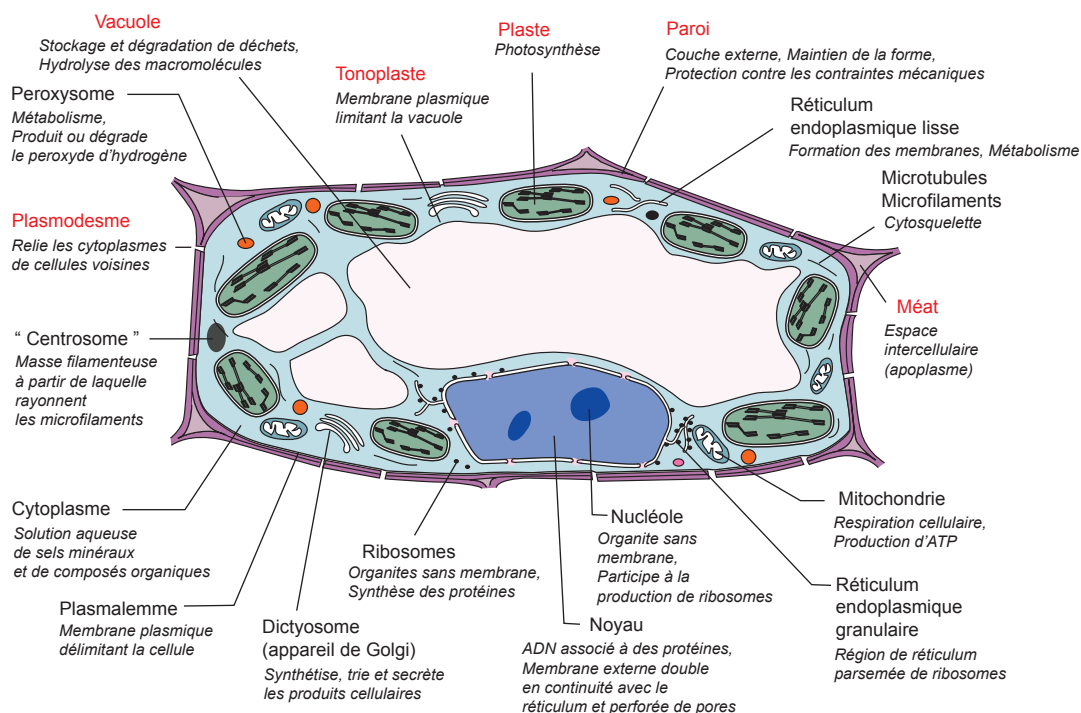
Les Archéoplastidés, ou lignée verte, sont des organismes dont les cellules contiennent, en plus des organites des cellules animales, une paroi pecto-cellulosique, des plastes et un réseau de vacuoles.

## 1. Organisation générale de la cellule végétale

L'organisation du cytoplasme de la cellule végétale est du type eucaryote. Il est cependant très limité et réparti sur le pourtour de la cellule, la région centrale de la cellule formant des travées vacuolaires. Il inclut (figure 1) :

- un noyau, souvent déporté sur le côté et plaqué contre la membrane plasmique ;
- divers organites qui composent le système endomembranaire (réticulum, dictyosome, vésicules) ;
- des chloroplastes et des mitochondries ;
- une vacuole qui occupe l'essentiel de la cellule.

Par comparaison aux cellules animales, il faut noter l'absence de lysosomes et d'un véritable centrosome. Il existe également, dans le cytoplasme, des filaments d'actine et des filaments intermédiaires. Ces structures participent principalement à la dynamique interne des organites et aux divisions cellulaires, la fonction d'endocytosquelette hydrostatique étant essentiellement dévolue à la vacuole.



**Figure 1** Cellule d'Embryophyte

Les éléments légendés en rouge sont spécifiques des cellules végétales

## 2. La paroi

La cellule des Embryophytes est entourée d'une matrice extracellulaire de composition pecto-cellulosique, la paroi, et est éventuellement spécialisée par l'enrichissement en autres constituants (polyphénol, cires, etc.). Cette paroi joue le rôle d'exosquelette et permet également la cohésion des tissus. Sa présence définit un continuum extracellulaire, l'apoplasme, dans lequel l'eau et les solutés peuvent circuler par diffusion passive (voie apoplasmique).

La paroi primaire, formée très tôt lors de la division de la cellule mère, est capable de s'agrandir sous la pression de turgescence lors de l'auxèse. Une fois la croissance terminée, la paroi secondaire est alors formée par addition de couches successives de cellulose disposées en strates entrecroisées.

La résistance de la paroi est due à la présence de microfibrilles de cellulose insérées dans un ciment pectique et hémicellulosique associé à des protéines pariétales. Dans le cas du xylème, du sclérenchyme et du bois, de la lignine est ajoutée à cet ensemble moléculaire, lui conférant imperméabilité et rigidité. Par cette dernière propriété, la présence de la paroi empêche donc toute migration cellulaire.

La paroi comprend de nombreux « pores » permettant la communication entre deux cellules voisines : les plasmodesmes. Chaque plasmodesme est bordé d'une membrane en continuité avec les membranes plasmiques (ou plasmalemmes) des cellules voisines. Au centre du plasmodesme, un canal membranaire interne, le desmotube, relie le réticulum endoplasmique

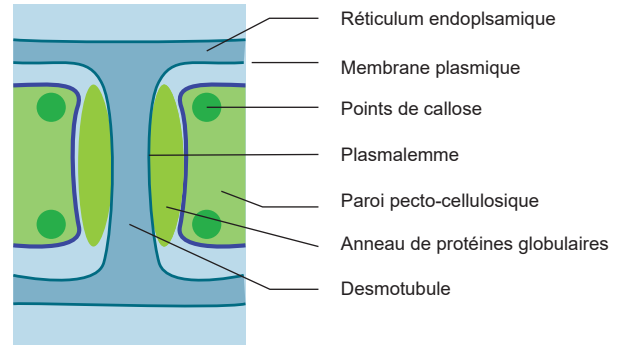


Figure 2 Plasmodesme

Le desmotube, relie le réticulum endoplasmique de deux cellules connectées (figure 2). L'ensemble des cytoplasmes connectés forme le symplasme. Celui-ci permet la circulation de molécules par des transports passifs, constituant une voie d'échanges intercellulaires, la voie symplasmique, complémentaire de la voie apoplasmique.

### 3. Les plastes

Chez les Embryophytes, les plastes (figure 3) sont subdivisés en général en trois types, convertibles entre eux (interconversion plastidiale) :

- les chloroplastes contenant de la chlorophylle et des caroténoïdes ;
- les chromoplastes contenant une grande quantité de caroténoïdes ;
- les leucoplastes, dépourvus de pigments et assurant le stockage de protéines dans les protéoplastes, de lipides dans les oléoplastes, ou de glucides dans les amyloplastes.

Tout plaste provient d'un plaste déjà existant. Il ne peut y avoir formation de plaste *ex nihilo*. Cependant, les chloroplastes peuvent se diviser et donner de nouveaux organites photosynthétiques.

### 4. La vacuole

L'appareil vacuolaire se présente sous la forme de petites vacuoles isolées dans les jeunes cellules et sous la forme d'une grande vacuole unique dans les cellules différenciées.

La vacuole se forme à partir de vésicules qui, après s'être détachées du réseau transgolgien, fusionnent en un grand compartiment délimité par le tonoplaste et contenant du suc vacuolaire.

Les vacuoles possèdent de nombreuses fonctions :

- elles participent au port de la plante terrestre en formant un squelette hydrostatique grâce aux échanges ioniques et hydriques responsables de la turgescence ;
- elles contiennent des réserves (glucides, protéines, parfums, alcaloïdes tels que l'opium, etc.) et des pigments (anthocyanes, etc.) ;
- elles contiennent des enzymes hydrolytiques identiques à ceux des lysosomes ;
- elles ont une fonction homéostatique par échanges avec le cytoplasme ;
- elles assurent l'accroissement cellulaire par des phénomènes de turgescence lors de l'auxèse.

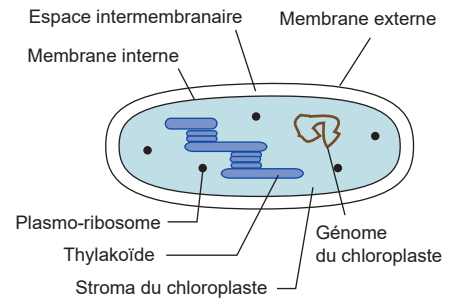


Figure 3 Organisation anatomique de plaste (exemple du chloroplaste)